

OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

⑪ Número de publicación: **2 136 525**

⑫ Número de solicitud: 009602528

⑤① Int. Cl.<sup>6</sup>: G01H 9/00

⑫

## SOLICITUD DE PATENTE

A1

⑫② Fecha de presentación: **11.11.1996**

⑫③ Fecha de publicación de la solicitud: **16.11.1999**

⑫③ Fecha de publicación del folleto de la solicitud:  
**16.11.1999**

⑦① Solicitante/s: **Universidad de Cantabria**  
**Avda. de los Castros, s/n**  
**39005 Santander, Cantabria, ES**

⑦② Inventor/es: **López Higuera, José Miguel;**  
**Morante Rábago, Miguel A.;**  
**Cobo García, Adolfo y**  
**Echevarría Cuenca, Juan**

⑦④ Agente: **No consta**

⑤④ Título: **Sistema sensor de fibra óptica para medir y/o monitorizar aceleraciones o desplazamientos biaxiales.**

⑤⑦ Resumen:

Sistema sensor de fibra óptica para medida y/o monitorizado de aceleraciones o desplazamientos biaxiales.

El sistema consiste en una cabeza transductora (1), un canal óptico (2) y una unidad de generación, detección de luz, y de tratamiento y procesamiento de la señal (3). Una vibración mecánica en la cabeza transductora es reproducida fielmente (en el dominio eléctrico) en la salida del sistema (3<sub>S1</sub>). Aceleraciones o desplazamientos en la cabeza transductora, generan desplazamientos en un tallo de fibra óptica y modulan la intensidad luminosa que, colectada diferencialmente por cuatro/dos fibras ópticas, se envía a través del canal óptico a la unidad de detección, acondicionamiento y procesamiento de señal, la cual reproduce en su salida la aceleración o el desplazamiento en la cabeza transductora. El sistema es escalable, pudiendo medir simultáneamente vibraciones en puntos diferentes.

El sistema, sin despreciar otras aplicaciones, mide aceleraciones de baja y muy baja frecuencia o desplazamientos en instalaciones, estructuras, equipos y componentes, trabajando eficientemente en ambientes eléctrica, magnética o electromagnéticamente contaminados, pudiendo, con diseños adecuados, trabajar en rangos muy variados de frecuencias.

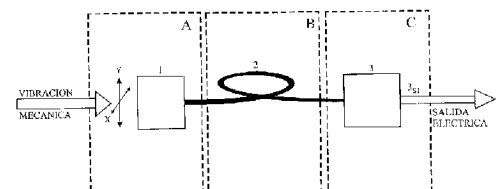


Figura 1

ES 2 136 525 A1

## DESCRIPCION

Sistema sensor de fibra óptica para medir aceleraciones o desplazamientos biaxiales.

### Objeto de la invención

La invención concierne al campo de la medida de parámetros físicos tales como las aceleraciones o los desplazamientos de vibraciones que se producen en el funcionamiento de instalaciones y/o equipos. El conocimiento, registrado o en tiempo real, de los mencionados parámetros, contribuye a conocer, descifrar y predecir estados y comportamientos de las instalaciones o equipos, lo que se refleja sobre parámetros claves industrialmente, como es la fiabilidad de los mismos y su consiguiente repercusión económica.

Más concretamente, la medida en tiempo real de vibraciones, sobre todo las de muy baja frecuencia, es de vital importancia en grandes equipos generadores de energía eléctrica, y en general en grandes estructuras de las que son un ejemplo las propias de obra civil (puentes, presas, ...), construcción, etc., siendo en la actualidad un problema no resuelto.

El Sistema Sensor de Fibra óptica objeto de esta patente, mide en cada punto objeto, aceleraciones o desplazamientos en dos direcciones perpendiculares, es decir, *biaxialmente*, con las prestaciones que son requeridas en instalaciones o equipos, como las/los mencionadas/os anteriormente, pudiéndose utilizar, además, materiales aislantes en los lugares contaminados eléctrica, magnética y/o electromagnéticamente, ofreciendo una salida en el dominio eléctrico, en lugares muy distantes y aislados de la región en la que se produce la vibración.

### Antecedentes

Los sensores más utilizados para medir vibraciones se basan en efectos electromecánicos [1], piezorresistivos [2] y, fundamentalmente, piezoelectricos [3]. Sin embargo, estos sensores no ofrecen funcionamientos adecuados a muy baja frecuencia y/o trabajan defectuosamente en ambientes contaminados electromagnéticamente, situaciones que concurren en grandes máquinas rotatorias y en grandes estructuras, como las de los sectores de generación de energía eléctrica, obra civil, puentes, presas, edificios y otros.

Sucede que la medida y/o registro en tiempo real de vibraciones permite conocer, descifrar y predecir estados y comportamientos de las instalaciones, equipos y componentes, lo que se refleja sobre la vida y, en definitiva, sobre la fiabilidad de los mismos, con sus consiguientes repercusiones técnicas y económicas.

Es por ello por lo que es razonable el desarrollo de sensores que respondan a bajas frecuencias y/o sean inmunes a las radiaciones electromagnéticas, e, incluso, que ofrezcan salidas fiables en el dominio eléctrico a largas distancias de los puntos objeto de medida.

El desarrollo de Sensores de Fibra Optica en los que tanto la cabeza sensora como el canal de comunicaciones se realizan con materiales aislantes, contribuye a evitar, en parte o totalmente, los inconvenientes anteriormente mencionados.

Diversos sensores ópticos para medir vibraciones con diferentes principios de funcionamiento

(efecto Doppler [4], interferometría [5] [6]) han sido presentados.

Asimismo, se han desarrollado diversos sensores basados en la modulación de la intensidad óptica intrínsecamente (aplicados a la medida de presión [7], deformación [8] [9] y aceleración [10]), o extrínsecamente -cuando la interacción ocurre fuera de la guía de onda- (para medir presiones [11] o desplazamientos [12]).

De las diferentes técnicas de modular la luz con la variable objeto de medida, es la modulación de intensidad la que, potencialmente, ofrece desarrollos que, cumpliendo las especificaciones requeridas, resultan más económicos, lo que favorece su penetración y utilización industrial.

Algunos Sistemas Sensores de Fibra óptica para medir desplazamientos [13] [14] o aceleraciones [15] se encuentran en fase de explotación. Una solicitud de patente fue presentada por la Universidad de Cantabria el 28/11/1995 [16].

La Agencia Oficial de la Propiedad Industrial IBERPATENT, ha visualizado en la Base de Datos CIBEPAT millones de documentos de los cuales entorno a dos centenares han respondido a las palabras clave de búsqueda SENSOR y OPTICO.

De todo lo anterior (publicaciones y patentes presentadas), y según nuestro conocimiento, se desprende que el sistema sensor objeto de esta patente reúne los requisitos diferenciadores, de inventiva innovadora y de aplicabilidad industrial requeridos.

### Referencias.

- [1] ICS sensor, "3145 Acceleromete", ICS sensor, 1992.
- [2] Endevco Corporation, "Piezoelectric and Isotron accelerometers: selection guide", Endevco Corp., 1992.
- [3] Dytran Instruments Inc., "General catalog and instrumentation handbook", Dytran Instruments Inc., California, 1991.
- [4] TSI Incorporated, "Laser vibrometer", TSI Incorporated, Process Instrumentation Group, 1991.
- [5] Kersey A.D., Morrone, M.J., Davis, M.A., "Polarization insensitive fibre optic Michelson interferometric fibre optic vibrometer using novel optical signal processing scheme", Electronic Letters, vol 27, n° 6, 14<sup>th</sup> March 1991.
- [6] Weir, K., Boyle, J.O., Palmer, A.W. and Grattan, K.T.V., "Low coherence, interferometric fibre optic vibrometer using a novel optical signal processing scheme", electronic Letters, vol 27, n° 18, 29<sup>th</sup> August 1991.
- [7] Lagakos, N., Cole, J.H., Bucaro, J.A., "Microbend fiber-optic sensor", Applied Optics, Vol. 26, pág 2171-2180, 1987.
- [8] Weiss, J.D., "Fiber-optic strain gauge", Journal of Lightwave Technology, vol. 7, No. 9, pág. 1308-1318, 1989.

- [9] Vaziri, Masoud, Chen, Chin-Lin, "Optical-fiber strain sensors with asymmetric etched structures", *Applied Optics*, vol. 32, no. 31, pág. 6399-6406, 1993.
- [10] Freal, J., Zarobila, C J., Davis, C., "A microbend horizontal accelerometer for borehole deployment", *Journal of Lightwave Technology*, vol. LT-5, No. 7, pág.993-996, 1987.
- [11] Spillman, W.B., "Multimode fiber-optic hydrophone based on a schlieren technique", *Applied Optics*, vol. 20, no. 3, pág. 465-470, 1981.
- [12] Cook, R.O., Hamm, C.W., "Fiber Optic Lever Displacement Transducer", *Applied Optics*, vol. 18, pág. 3230, 1979.
- [13] Brenci, M., Mencaglia, A., Mignani, A.G., "Fiberoptic multiple-sensor for simultaneous measurements of temperature and vibrations", *SPIE/Fibers*, vol. 1572, pág. 318-324,1991.
- [14] CSO, "HCS250 micro-laser interferometer", CSO, 1995.
- [15] Takaoka Electric, Ltd., "Fiber Accelerometer FA2010", Technical specifications.
- [16] Universidad de Cantabria "Sistema sensor de Fibra Optica para monitorizado de Aceleraciones o desplazamientos Uniaxiales". Patente solicitada con el número P9502435.

### Descripción de la invención

Para un mejor seguimiento y comprensión, la presentación de la invención se realizará de acuerdo a los siguientes apartados: *breve descripción de la invención, breve descripción de los esquemas o planos, y descripción detallada de la misma.*

### Breve descripción de la invención

El Sistema Sensor de Fibra Optica que la invención propone ha sido concebido para resolver la problemática anteriormente mencionada a plena satisfacción. Más concretamente: medir las aceleraciones de vibraciones de baja y muy baja frecuencia o desplazamientos en instalaciones, estructuras, equipos y componentes, pudiendo, incluso, trabajar eficientemente en lugares o ambientes eléctrica, magnética o electromagnéticamente contaminados. No obstante lo anterior, el rango frecuencial de respuesta es modificable por diseño.

Esencialmente el sistema consiste en una cabeza transductora, un canal de comunicaciones y una unidad de generación, detección de radiación luminosa, y de tratamiento y procesamiento de la señal detectada (figura 1). A través del sistema, las dos componentes ortogonales de una vibración detectada en la cabeza transductora serán reproducidas, fielmente, (en el dominio eléctrico) en la/s salida/s del sistema.

Diseños apropiados del sistema hacen que las aceleraciones o desplazamientos de las vibraciones a las que se somete la cabeza transductora, se conviertan en desplazamientos de un tallo de

fibra óptica, que a su vez modulan la intensidad luminosa que, emitida en la unidad de generación de radiación óptica, incide convenientemente en la cabeza transductora a través del canal. Utilizando una técnica de detección óptica diferencial, las modulaciones son adecuadamente capturadas y, a través del canal óptico, se envían a la unidad de detección, acondicionamiento y procesamiento de señal. Esta última suministra tensiones eléctricas que reflejan fielmente la aceleración o desplazamiento a la que se sometió la cabeza transductora en el plano en el que es sensible a la vibración. El sistema, por tanto, determina biaxialmente y, en tiempo real, la vibración habida en el punto objeto de medida.

Este Sistema Sensor de Fibra Optica, según nuestro conocimiento, no tiene ningún precedente, diferenciándose de los publicados o patentados hasta la fecha, bien en su concepción, en su filosofía de funcionamiento, bien en su tecnología, y/o global o parcialmente en sus prestaciones técnicas. No existe en la actualidad ningún sistema sensor capaz de medir *simultáneamente*, en puntos *diferentes*, vibraciones biaxiales de muy baja frecuencia en ambientes electromagnéticamente hostiles, y con costes razonablemente bajos. El sistema presenta la ventaja de ser escalable, lo que implica que fácilmente puede crecer y adquirir la propiedad de medida, simultáneo, en un gran número de puntos de una estructura, máquina o componente, lo que le confiere una gran aplicabilidad industrial.

### Breve descripción de los esquemas o planos

Figura 1.- Esquema general de una unidad del Sistema Sensor de Fibra Optica. 1: cabeza transductora biaxial. 2: canal óptico de comunicaciones. 3: unidad de generación, detección de radiación óptica y de acondicionamiento y procesamiento de la señal. Las regiones A y B pueden tener ambientes eléctrica, magnética o electromagnéticamente contaminados.

Figura 2.- Esquema general reflejando la propiedad de escalabilidad (medición en  $\underline{1}$  o en  $\underline{n}$  puntos simultáneamente).  $1_n$ : cabeza transductora n.  $2_1, \dots, 2_n$ : secciones 1, ..., n del canal óptico de transmisión (cablecillos de fibra óptica). 2: canal óptico de comunicaciones, que puede ser muy largo (cable multifibra). 3: unidad de generación detección y procesamiento de señal.  $3_{Sn}$ : salida eléctrica del sensor n. 5: unidad de distribución óptica. Las regiones A y B pueden tener ambientes eléctrica, magnética o electromagnéticamente contaminados cuya intensidad puede ser muy fuerte.

Figura 3.- Despiece de la unidad de modulación de una cabeza transductora de fibra óptica. 6: surcos para posicionar y sujetar la fibra óptica de entrada: soporte. 7: tallo libre de fibra óptica. 8,9,10 y 11: fibras ópticas de salida. 12: tubo contenedor de las fibras ópticas de salida. 13: soporte. 14: surco para posicionar y sujetar con precisión el tubo contenedor de las fibras de salida.

Figura 4.- Despiece de una cabeza transductora de fibra. 15 y 16: soporte y tapa respectivamente. 17: surcos holgados para alojar al tallo vibrante de fibra óptica. 18: surcos para posicionar y sujetar con precisión la fibra óptica de entrada.

19: surcos para posicionar y sujetar con precisión el tubo contenedor de las fibras ópticas de salida. 20: surcos holgados para posicionado de fibras ópticas de salida. 21: surco para sujetar el cablecillo de las fibras ópticas de entrada/salida. 22: tallo de fibra óptica. 23: fibras ópticas de salida. 24: cablecillo de las fibras ópticas de entrada y salida. 25: y 26: agujeros pasantes y roscados para presionado de soporte y tapa. 27: tornillos para sujeción de soporte y tapa.

Figura 5.- Esquema general de la unidad de generación, detección de radiación óptica, procesado y acondicionado de la señal eléctrica. 28,29,30,31: diodos fotodetectores, preferentemente tipo PIN o APD. 32,33,34,35: unidades preamplificadoras y de prefiltrado. 36: unidad de procesado y acondicionamiento de la señal eléctrica. 37: diodo generadores de radiación óptica, preferentemente tipo LED o LASER. 38: controlador de la excitación del diodo de generación óptica. 39: Fuente de alimentación.  $S_{opt}$ : salida del generador de radiación luminosa.  $E_{o1}$ ,  $E_{o2}$ ,  $E_{o3}$   $E_{o4}$ : entradas de las radiaciones luminosas moduladas.  $S_x$ ,  $S_y$ ,  $/S_{xy}/$   $\rho_{xy}$ : salidas eléctricas del sistema sensor.

#### Descripción detallada de la invención

El sistema consiste en una cabeza transductora (1), un canal de comunicaciones (2) y una unidad de generación, detección de radiación luminosa, y de tratamiento y procesado de la señal detectada (3) (figura 1). A través del sistema, una vibración mecánica detectada biaxialmente en la cabeza transductora será reproducida fielmente (en el dominio eléctrico) en la salida del sistema ( $3_{S1}$ ). Dado que tanto la cabeza transductora como el canal de comunicaciones ópticas son realizables, en su totalidad, con materiales aislantes, la inmunidad a las interferencias eléctricas, magnéticas, y/o electromagnéticas es total, siendo esta, junto con la condición de biaxialidad, dos de las ventajas destacables del sistema. Además, la unidad de generación y procesado es instalable, sin pérdida de prestaciones, muy distante de la cabeza transductora.

El sistema es fácilmente escalable (capacidad de crecimiento del número de puntos en los que se pueden medir simultáneamente, y en tiempo real, vibraciones) y ser convertido en un sistema de orden  $n$  manteniendo las mismas características técnicas de funcionamiento por cada sensor, independientemente del orden del sistema. Esto es, las vibraciones detectadas por las cabezas transductoras ( $1_1$ ,  $1_2$ , ...,  $1_n$ ), son reproducidas (en el dominio eléctrico) en las salidas ( $3_{S1}$ ,  $3_{S2}$ , ...,  $3_{Sn}$ ), respectivamente (figura 2).

El funcionamiento es como sigue. La luz producida en la unidad de generación (37,38), que está formada por diodos generadores de luz LED o LASER, se envía a través del canal óptico a la cabeza transductora correspondiente, accediendo en ella a través de su fibra óptica de entrada, que tiene una región rígidamente empotrada y finaliza en otra libremente suspendida o tallo (22). Ocurre que mediante diseños apropiados, la vibración comunicada al referido tallo, a través del soporte o cápsula de la cabeza transductora, produce en el extremo del mismo desplazamientos que son proporcionales a la aceleración o al des-

plazamiento de la vibración y modula la intensidad luminosa saliente. Estas modulaciones se detectan diferencial y biaxialmente con cuatro fibras (8,9,10,11) debidamente acondicionadas y posicionadas (12, 14,23), y se envían, a través del canal, a la unidad de detección (3), en la que se traducen al dominio eléctrico por los fotodetectores (28,29,30,31), preferentemente del tipo PIN o APD. Se preamplifican y prefiltran (32,33,34,35), siendo a continuación debidamente procesadas y acondicionadas (36). La salida del sistema ofrece la posibilidad de medir fielmente la variable objeto en cada uno de los dos ejes ortogonales ( $S_x$ ,  $S_y$ ), y/o, vectorialmente, entregar tanto el módulo ( $/S_{xy}/$ ) como la fase ( $\rho_{xy}$ ) de la vibración. El módulo de alimentación (39), surte adecuadamente de energía eléctrica a cada uno de las partes de que se compone la unidad optoelectrónica.

El sistema sensor así constituido de manera general, sin descartar otras alternativas de configuración de las cabezas sensoras, del canal y/o de la optoelectrónica de generación, detección, acondicionado y procesado de la señal ha sido elegido para conseguir las siguientes ventajas y/o prestaciones:

1.- El hecho de que tanto la cabeza transductora como el canal sean realizables totalmente con materiales aislantes, hace que puedan trabajar en áreas en las que existan grandes contaminaciones de campos eléctricos, magnéticos o electromagnéticos sin que las prestaciones de las medidas se vean afectadas por los mismos.

2.- Al realizarse totalmente con tecnología de fibra óptica tanto la cabeza transductora como el canal, por un lado las pérdidas de inserción del transductor se minimizan, y esto último, conjuntamente con la baja atenuación del canal, conlleva que el rango dinámico disponible sea grande y, por consiguiente, la distancia a la que se puede situar la electrónica es muy elevada, sin parangón alguno respecto de los sistemas de funcionamiento eléctrico (sin ampliaciones intermedias).

3.- El sistema sensor es capaz de medir, fielmente, y, vectorialmente las aceleraciones que se produzcan en el plano sensible para el que la cabeza transductora haya sido diseñada. Es decir: mide aceleraciones biaxiales entregando el módulo y la fase de la vibración.

4.- El sistema sensor puede medir, además, simultáneamente o, según desee el usuario, únicamente, vibraciones uniaxiales, en forma de aceleración ó desplazamiento.

5.- Dependiendo del diseño de la cabeza transductora, el sensor responde adecuadamente a frecuencias muy bajas, por debajo del herzio, característica que difícilmente se consigue con otras tecnologías de sistemas sensores muy costosos, voluminosos y, además, sensibles a las contaminaciones electromagnéticas. No obstante lo anterior, diseños y realizaciones adecuados posibilitan posicionar la banda frecuencial en rangos muy diversos de frecuencias.

6.- La realización de las cabezas transductoras resulta sencilla y con materiales que pueden ser de bajo coste, situación que se da en la unidad de generación y procesado de la señal (1), facilitándose su penetración industrial.

7.- El sistema es fácilmente escalable, lo que ofrece la ventaja de medida simultánea, en tiempo real, de vibraciones en un gran número de puntos distribuidos estratégicamente por la estructura/s, máquina o lugar en el que se desea conocer la vibración, sus formas de onda, valores de sus parámetros más significativos y otros.

8.- Lo reflejado, en el punto anterior facilita el procesado de los mismos, así como la obtención de correlaciones entre los sucesos acaecidos en los diferentes puntos, a través de lo cual se pueden descifrar y/o predecir sucesos y comportamientos con incidencia directa en:

- el diseño y fabricación,
- la vida y fiabilidad,
- la seguridad, de máquinas, estructuras y equipos de gran interés industrial.

### Realización preferente de la invención

Aunque se considera que en lo anterior se ha descrito suficientemente la invención, en su conjunto, como para que pueda deducirse su realización, en lo que sigue, y no excluyendo otras posibilidades de realización, se reflejará una forma de efectuar las partes que constituyen el sistema sensor.

#### Realización de cabezas transductoras

Considerando que el diseño, tal y como se ha mencionado anteriormente, depende de las necesidades específicas de cada aplicación industrial, en lo que sigue se mostrarán dos formas de realización que cumplen las mismas especificaciones técnicas.

#### Realización de cabezas transductoras con entradas y salidas diametralmente opuestas

Se parte de un soporte y una tapa que con anterioridad han sido convenientemente mecanizados mediante cualquiera de los procedimientos posibles (fresado, láser u otros). Tanto la tapa como el soporte son realizables con materiales aislantes. El soporte y la tapa presentan surcos de precisión para posicionar y sujetar las fibras de entrada y de salida, y surcos holgados para permitir la vibración libre del tallo de fibra óptica de entrada y el posicionado y sujeción rígidos de las de salida, así como la fijación de los cablecillos de fibra óptica de entrada y salida. Se posicionan las fibras de entrada y de salida, adecuadamente tratadas, y se empaquetan entre el soporte y la tapa. El conjunto se sella y se le pintan las codificaciones pertinentes, quedando todo ello como un todo compacto y hermético.

Dimensionando convenientemente el surco y situando, con los acabados adecuados de sus extremos, las fibras ópticas referidas, se logran realizaciones con diferentes rangos de frecuencias de trabajo, así como la selección del funcionamiento del transductor en modo acelerómetro o como medidor de desplazamiento.

#### Realización de cabezas transductoras con un único cablecillo de entrada y salida

Las partes fundamentales se ilustran en la figura 4. Se parte de un soporte (15) y una tapa de soporte (16) que con anterioridad ha sido convenientemente mecanizada mediante cualquiera de los procedimientos al uso (fresado, láser, ...).

Tanto la tapa como el soporte son realizables con materiales aislantes. El soporte y la tapa presentan surcos de precisión para posicionar y sujetar la fibra de entrada (18) y las de salida (19). Tienen, además, surcos holgados para permitir la vibración libre del tallo de fibra óptica de entrada (17) y el guiado y sujeción de las fibras de salida (23), así como del cablecillo de fibras ópticas de entrada y salida (21). Se posicionan las fibras de entrada (22) y de salida (23), convenientemente tratadas y acabadas, y se empaquetan entre el soporte y la tapa. Para ello se tienen los surcos pasantes y roscados (25) (26) y los consiguientes tornillos. El conjunto se sella y se le pintan las codificaciones pertinentes, quedando todo ello como un todo compacto y hermético.

Dimensionando adecuadamente el surco (17), situando con las dimensiones deseadas el tallo libre (22) y efectuando acabados precisos de los extremos de las fibras ópticas referidas (22) (23), se logran realizaciones con diferentes rangos de frecuencias de trabajo, así como que el funcionamiento del transductor lo haga en modo acelerómetro o medidor de desplazamiento.

Los ejes sensibles pueden ajustarse, teórica y prácticamente, rotando convenientemente el tubo contenedor de las cuatro fibras de salida de la cabeza transductora.

#### Realización del canal óptico de transmisión

El esquema general de un canal para un Sistema Sensor Óptico de orden  $n$ , se muestra en la figura 2. De las cabezas transductoras ( $1_1, 1_2, \dots, 1_n$ ) salen cablecillos de cinco fibras ( $2_1, 2_2, \dots, 2_n$ ) que confluyen en una caja de distribución de señales ópticas (5), de la que sale un cable de fibra conteniendo, al menos,  $5n$  fibras ópticas. El mencionado cable termina en cordoncillos de fibra que se conectorizan adecuadamente a las salidas ( $5_{opt}$ ) y entradas de luz ( $E_{o1}, E_{o2}, E_{o3}$ , y  $E_{o4}$ ) de la unidad de generación, detección, acondicionamiento y tratamiento de la señal, (3). Tanto los cablecillos como el cable del canal óptico de comunicaciones se diseñan de acuerdo a las especificaciones técnicas requeridas en cada aplicación, pudiendo utilizarse, en un porcentaje considerable de supuestos, cablecillos, cables y cordoncillos estándar de comunicaciones ópticas, lo que repercute en la consecución de canales económicos.

#### Realización de la unidad de generación, detección, acondicionamiento y procesado de la señal

La subunidad de generación consta, en esencia, de un diodo generador de luz (37) y la electrónica de excitación y control del mismo (38).

Las radiaciones luminosas moduladas con la información procedentes de la cabeza transductora entran en la unidad electrónica por los conectores ópticos ( $E_{o1}, E_{o2}, E_{o3}$ , y  $E_{o4}$ ), siendo detectadas en los fotodetectores semiconductores (28, 29, 30, 31). La señal eléctrica resultante es preamplificada mediante amplificadores eléctricos de bajo ruido, y prefiltrada (32,33,34,35). Las cuatro señales son procesadas electrónicamente, filtradas y acondicionadas (36), resultando a la salida fieles reproducciones, en el dominio eléctrico, de las vibraciones acaecidas en la/s cabeza/s transductoras en cada uno de los ejes sensibles ( $S_x, S_y$ ), o vectorialmente en el plano de vibración ( $/S_{xy}$ ),

$ryp$ ), pudiéndose ofrecer rangos de sensibilidades variables según se actúe convenientemente sobre 36.

No se considera necesario hacer más extensa esta descripción para que cualquier experto en la materia comprenda el alcance de la invención y de las ventajas que de la misma se derivan, que inciden directamente en su aplicabilidad y explotabilidad industrial. Prototipos del sistema sensor objeto de la invención, funcionando en modalidad

uniaxial se encuentran trabajando, en la actualidad, en una máquina industrial.

Los materiales, forma, tamaño y configuración de los elementos serán susceptibles de variación, siempre y cuando ello no suponga una alteración de la esenciabilidad del invento.

Los términos en que se ha descrito esta memoria deberán ser tomados siempre en sentido amplio y no limitativo.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

## REIVINDICACIONES

1. Sistema Sensor de Fibra Optica para medir Aceleraciones o Desplazamientos Biaxiales, que, constituido por una cabeza transductora (1), un canal de comunicaciones (2), y una unidad de generación, detección de radiación luminosa, tratamiento y procesado de la señal detectada (3), y sin descartar otras alternativas de configuración de la cabeza sensora, del canal y/o de la optoelectrónica de generación detección acondicionado y procesado de la señal, se **caracteriza** por la capacidad de medir una aceleración o un desplazamiento biaxiales y reproducirlos fielmente (en el dominio eléctrico) en la salida del sistema ( $3_{Sn}$ ), que puede situarse a gran distancia de la mencionada cabeza transductora.

2. Sistema Sensor de Fibra Optica para medir Aceleraciones o Desplazamientos Biaxiales, que, según la reivindicación 1, se **caracteriza** por tener una cabeza transductora (1), un canal de comunicaciones (2), que realizados en su totalidad con materiales aislantes, confieren al sistema una total inmunidad ante interferencias eléctricas, magnéticas, y/o electromagnéticas, lo que le permite trabajar sin perturbaciones en ambientes eléctrica, magnética, y/o electromagnéticamente hostiles.

3. Sistema Sensor de Fibra Optica para medir Aceleraciones o Desplazamientos Biaxiales, que, de acuerdo con la reivindicación 1, (y según se ilustra en la figura 2) es escalable (capacidad de crecimiento del número de puntos en los que se pueden medir simultáneamente, y en tiempo real, vibraciones) y convertible en un sistema de orden  $\underline{n}$  (n puntos de medida) manteniendo las mismas características técnicas de funcionamiento en cada sensor, con independencia del orden del sistema, y con la propiedad de que las vibraciones biaxiales detectadas por las cabezas transductoras ( $1_1, 1_2, \dots, 1_n$ ), son reproducidas fielmente (en el dominio eléctrico) en sus respectivas salidas ( $3_{S1}, 3_{S2}, \dots, 3_{Sn}$ ), tanto en cada uno de sus ejes sensibles como, vectorialmente, en el plano de vibración.

4. Sistema Sensor de Fibra Optica para medir Aceleraciones o Desplazamientos Biaxiales, que, de acuerdo con la reivindicación 1, está constituido por una cabeza transductora que, realizada en tecnología de fibra óptica, responde tanto uniaxial como biaxial como vectorialmente a la aceleración de una vibración, lo que también se hace extensible, según diseños, a desplazamientos de la misma, y se **caracteriza**, esencialmente, por modular en intensidad la radiación óptica y detectarla diferencialmente.

5. Sistema Sensor de Fibra Optica para medir Aceleraciones o Desplazamientos Biaxiales, que, de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 4, comprende una cabeza transductora que se realiza con cinco fibras ópticas, una de las cuales actúa simultáneamente como guiaonda óptica de entrada y como elemento vibrante, y las otras cuatro, convenientemente tratadas y situadas, actúan como colectores diferenciales de la radiación óptica incidente modulada en intensidad.

6. Sistema Sensor de Fibra Optica para medir Aceleraciones o Desplazamientos Biaxiales, que,

de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 4, comprende una cabeza transductora que se realiza con cinco o con tres fibras ópticas, una de las cuales actúa simultáneamente como guiaonda óptica de entrada y como elemento vibrante, y las otras cuatro sólo dos son activas, o simplemente se sitúan dos, que convenientemente tratadas y situadas, actúan como colectores diferenciales de la radiación óptica incidente modulada en intensidad.

7. Sistema Sensor de Fibra Optica para medir Aceleraciones o Desplazamientos Biaxiales, que, de acuerdo con las reivindicaciones 1, 4, 5, y 6, está constituido por una cabeza transductora para cuya realización en tecnología de fibra óptica se utilizan soportes cuyos materiales se procesan por fresado, tecnología láser o cualquier tecnología al uso, y presentan características físicas, mecánicas y térmicas, similares o superiores a las ofrecidas por las fibras ópticas, en particular, las que hacen referencia a los coeficientes de expansión térmica y a la indeformabilidad, pudiendo tener las entradas y salidas por el mismo o diferente sitio de la cápsula que posiciona, sujeta, soporta y protege el dispositivo transductor.

8. Sistema Sensor de Fibra Optica para medir Aceleraciones o Desplazamientos Biaxiales, que, de acuerdo con las reivindicaciones 1, 4, 5, y 6, está constituido por una cabeza transductora en la que, dimensionando adecuadamente el surco (17), situando con la longitud conveniente el tallo libre (22) y efectuando acabados adecuados de los extremos de las cinco/tres fibras ópticas referidas (22) (23), se logran realizaciones con diferentes rangos de frecuencias de trabajo, de tal forma que el funcionamiento del transductor lo haga en modo acelerómetro, especialmente a muy bajas frecuencias.

9. Sistema Sensor de Fibra Optica para medir Aceleraciones o Desplazamientos Biaxiales, que, de acuerdo con las reivindicaciones 1, 4, 5, y 6 está constituido por una cabeza transductora en la que, dimensionando adecuadamente el surco (17), situando con la longitud conveniente el tallo libre (22) y efectuando acabados adecuados de los extremos de las tres fibras ópticas referidas (22) (23), se logran realizaciones con diferentes rangos de frecuencias de trabajo, de tal forma que el transductor funcione como medidor de desplazamientos.

10. Sistema Sensor de Fibra Optica para medir Aceleraciones o Desplazamientos Biaxiales, que, de acuerdo con la reivindicación 1, comprende un canal de comunicaciones ópticas que para un Sistema Sensor Optico de orden n está formado por cablecillos de cinco/tres fibras ópticas ( $2_1, 2_2, \dots, 2_n$ ) que enlazan las cabezas transductoras ( $1_1, 1_2, \dots, 1_n$ ) con una unidad de distribución de señales ópticas (5), de la que sale un cable de fibra óptica conteniendo, al menos,  $5n/3n$  fibras ópticas y que termina en cordoncillos de fibra óptica que se conectorizan adecuadamente a las salidas ( $S_{opt}$ ) y entradas de luz ( $E_1$ ) ( $E_2$ ) de la unidad de generación, detección, acondicionamiento y tratamiento de la señal (3), y que se diseñan conforme a las especificaciones técnicas requeridas en la aplicación, pudiendo utilizarse cablecillos, cables y cordoncillos de fibra óptica

estándares de comunicaciones.

11. Sistema Sensor de Fibra Optica para medir Aceleraciones o Desplazamientos Biaxiales, que, de acuerdo con la reivindicación 1, comprende una unidad de generación y detección de radiaciones luminosas y de acondicionamiento y procesamiento de las señales eléctricas detectadas, en la que la subunidad de generación está formada por diodos generadores de luz LED o LASER.

12. Sistema Sensor de Fibra Optica para medir Aceleraciones o Desplazamientos Biaxiales, que, de acuerdo con la reivindicación 1, comprende una unidad de generación y detección de radiaciones luminosas, de acondicionamiento y procesamiento de las señales eléctricas detectadas, y en la que la subunidad de detección, acondicionamiento y procesamiento tiene una etapa de detección realizada con dispositivos fotodetectores (preferentemente diodos PIN o APD) y la electrónica de preamplificación y/o de acondicionamiento asociada.

13. Sistema Sensor de Fibra Optica para medir Aceleraciones o Desplazamientos Biaxiales, que, de acuerdo con la reivindicación 1, com-

prende una unidad de generación y detección de radiaciones luminosas, de acondicionamiento y procesamiento de las señales eléctricas detectadas, y en la que la subunidad de detección, acondicionamiento y procesamiento está integrada por una etapa de preacondicionamiento constituida, en esencia, por filtros, y amplificadores (32,33,34,35) eléctricos, y una etapa de procesamiento y acondicionamiento (36), integrada por dispositivos semiconductores que presentan la capacidad de realizar, en tiempo real, las operaciones matemáticas necesarias a las señales de entrada, así como dar el nivel adecuado a las señales de salida del sistema sensor.

14. Sistema Sensor de Fibra Optica para medir Aceleraciones o Desplazamientos Biaxiales, que, de acuerdo con las reivindicaciones 1, 2, 3, 4 y 5 y convenientemente diseñado, se utilice aisladamente o dentro de un sistema global para el monitorizado de aceleraciones, en máquinas, dispositivos e instalaciones sometidos a vibración, así como las debidas a movimientos sísmicos, y a las que se somete el cuerpo humano y puedan afectar a su salud.



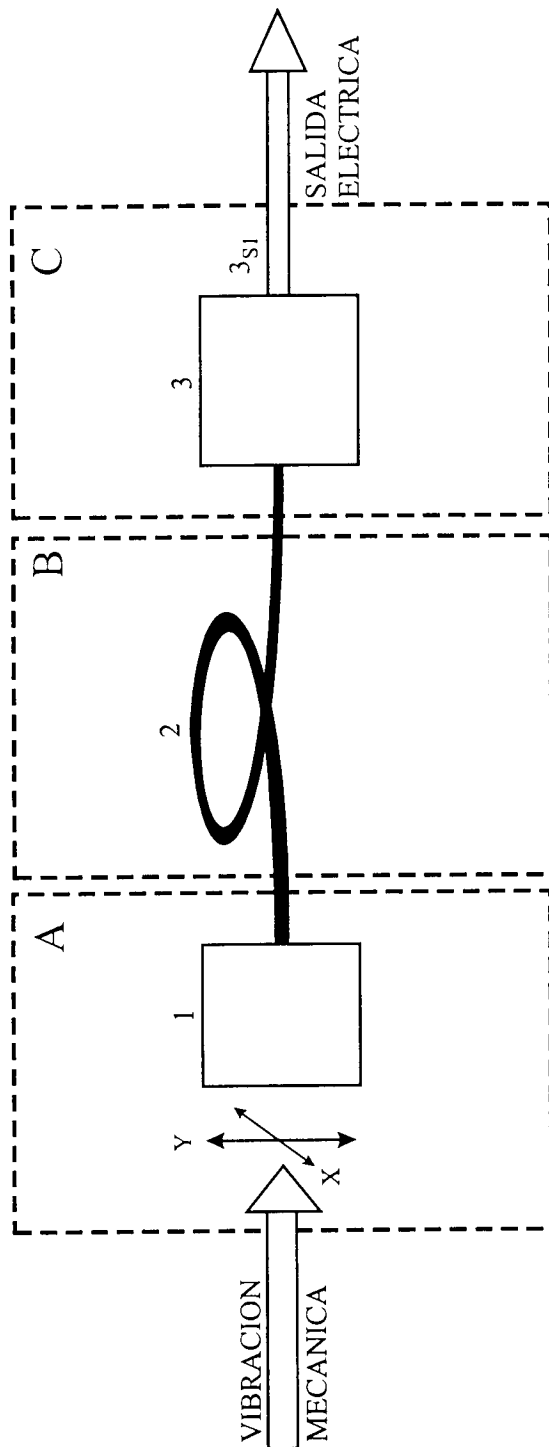


Figura 1

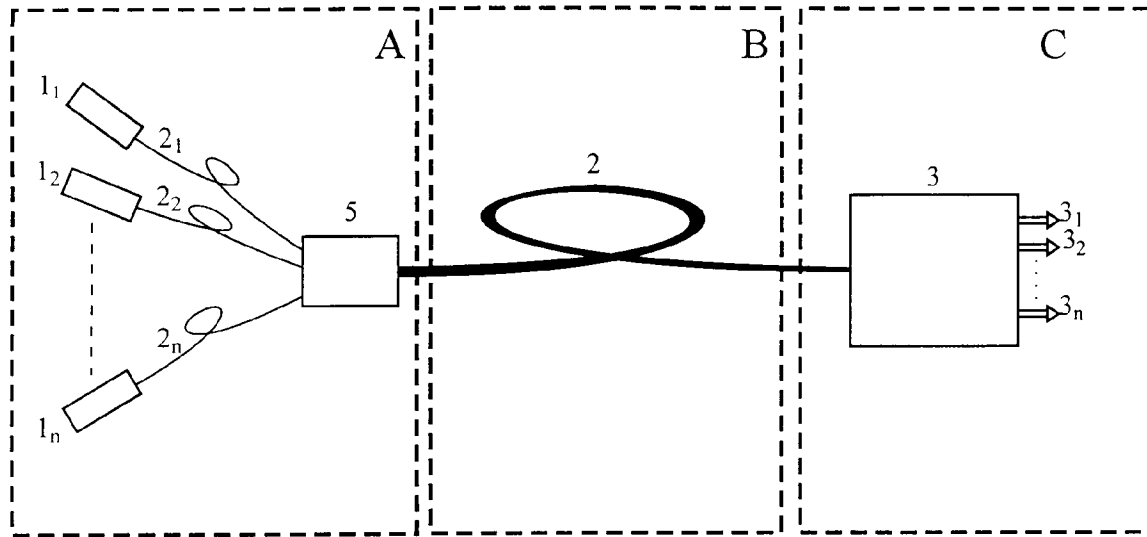


figura 2

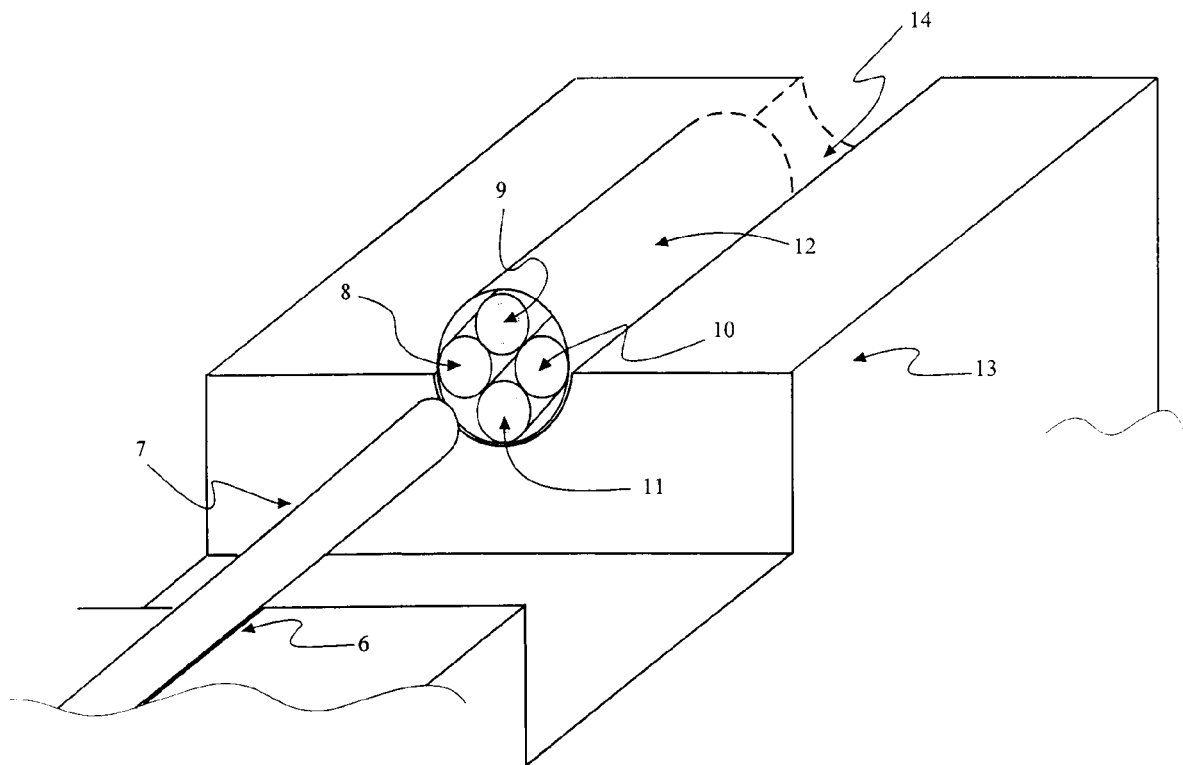


Figura 3

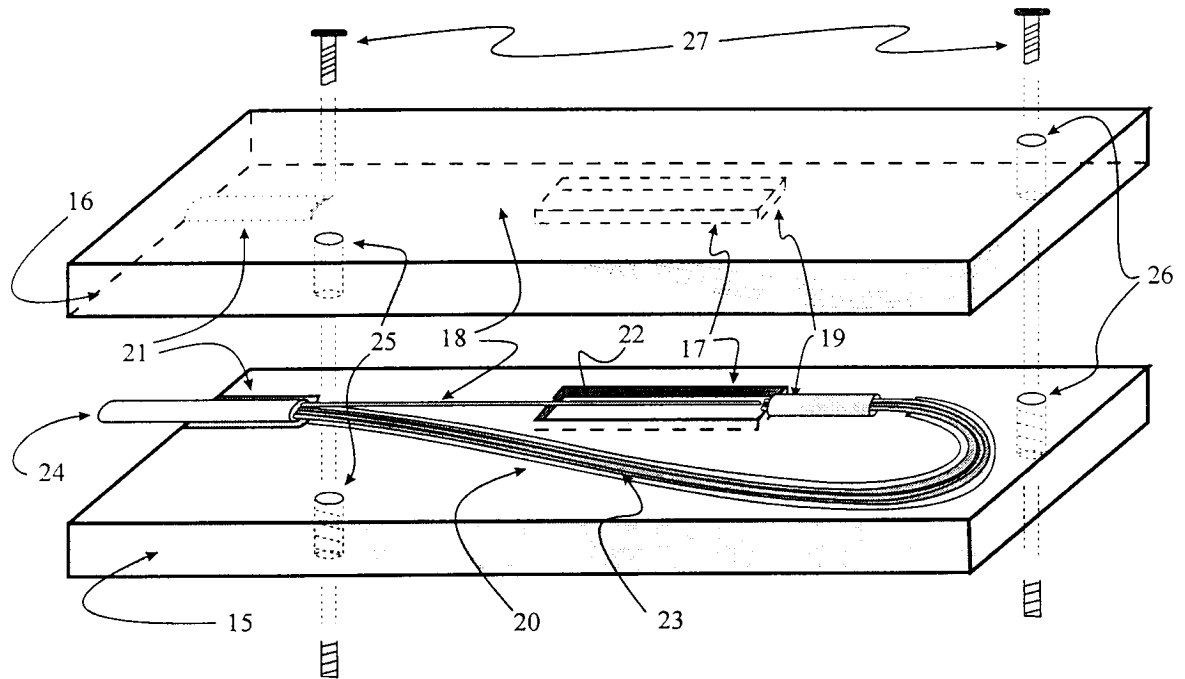


Figura 4

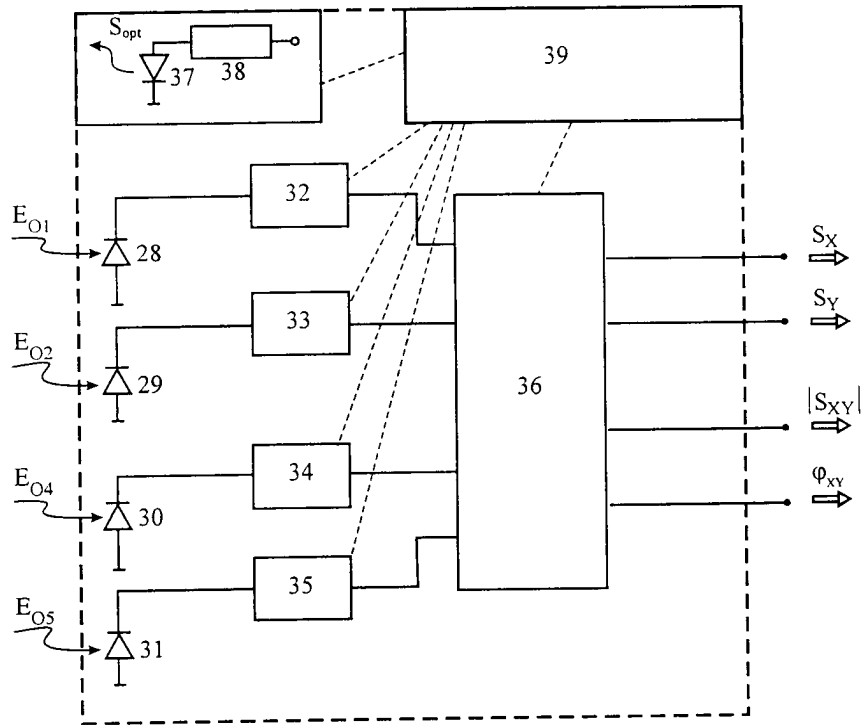


Figura 5



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA

- ⑪ ES 2 136 525  
⑫ N.º solicitud: 009602528  
⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 08.11.1996  
⑭ Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TECNICA

⑮ Int. Cl.<sup>6</sup>: G01H 9/00

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
E	ES 2124158 A1 (UNIVERSIDAD DE CANTABRIA) 16.01.1999, todo el documento.	1-14
X	EP 0334481 A1 (STC PLC) 27.09.1989, todo el documento.	1,2,4, 11-13
A		3,5-9,14
X	GB 2068112 A (FERRANTI LIMITED) 05.08.1981, página 1, líneas 5-41,66-125; página 2, línea 102 - página 3, línea 40; página 3, línea 120 - página 4, línea 15; figura.	1,11-13
A		4,5-9
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, CD-ROM PAJ / G01B-L 1976-1987 (1/2) / 48, JP 59-104518 A (TOSHIBA CORP.) 16.06.1984, resumen; figura.	1,4
A		5,6,8,9, 11-13
X	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN, CD-ROM MIJP 9606 PAJ 1996 - 10[021][08-140401/08-168300], JP 08-145780 A (TOHOKU NAKATANI: KK, KIMURA MITSUTERU) 07.06.1996, resumen; figura.	1
A	US 4293188 A (McMAHON, D.H.) 06.10.1981, columna 2, líneas 8-42.	1,4-9, 11-13
A	US 4408495 A (COUCH, R.D.; LENDERKING, B.N.) 11.10.1983, columna 2, línea 23 - columna 3, línea 21.	1

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones n.º:

Fecha de realización del informe  
01.10.1999

Examinador  
O. González Peñalba

Página  
1/2



OFICINA ESPAÑOLA  
DE PATENTES Y MARCAS  
ESPAÑA

- ⑪ ES 2 136 525  
⑫ N.º solicitud: 009602528  
⑬ Fecha de presentación de la solicitud: 08.11.1996  
⑭ Fecha de prioridad:

## INFORME SOBRE EL ESTADO DE LA TÉCNICA

⑮ Int. Cl.<sup>6</sup>: G01H 9/00

### DOCUMENTOS RELEVANTES

Categoría	Documentos citados	Reivindicaciones afectadas
A	EP 0291404 A1 (PHOTONETICS) 17.11.1988, todo el documento.	1

#### Categoría de los documentos citados

X: de particular relevancia

Y: de particular relevancia combinado con otro/s de la misma categoría

A: refleja el estado de la técnica

O: referido a divulgación no escrita

P: publicado entre la fecha de prioridad y la de presentación de la solicitud

E: documento anterior, pero publicado después de la fecha de presentación de la solicitud

#### El presente informe ha sido realizado

☒ para todas las reivindicaciones

☐ para las reivindicaciones n.º:

Fecha de realización del informe 01.10.1999	Examinador O. González Peñalba	Página 2/2
--	-----------------------------------	---------------